

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

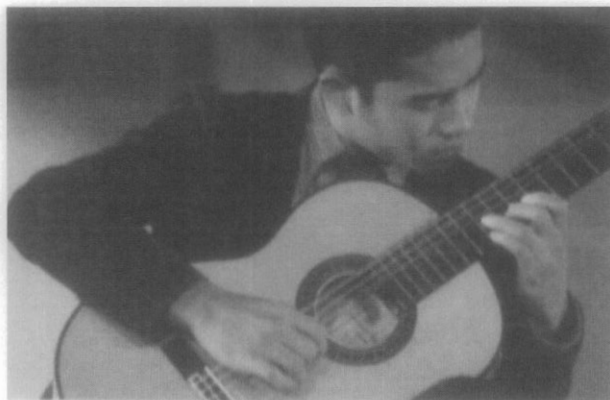
ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลองเรื่อง การหาค่าอัตราเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการสั่นพ้องของคลื่นเสียง ในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- 2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเสียง
- 2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสั่นพ้องของเสียง
- 2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองและอุปกรณ์การทดลอง
- 2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสอนแบบทดลอง
- 2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินชุดทดลอง
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเสียง

2.1.1 ธรรมชาติของเสียง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกระทรวงศึกษาธิการ (2554, หน้า 58-97) ถ้าเราใช้มือสัมผัสที่ลำคอของเราขณะเปล่งเสียง จะรู้สึกรู้ว่ามี การสั่นของกล้ามเนื้อที่ลำคอ ในทำนองเดียวกัน ถ้าเราใช้นิ้วสัมผัสที่สายของเครื่องดนตรี เช่น สายกีตาร์ ก็จะพบว่ามีการสั่นของสายในขณะที่เราคิดให้เกิดเสียง ยิ่งไปกว่านั้นจะพบอีกด้วยว่าขนาดของการสั่นเกี่ยวข้องโดยตรงกับความดังของเสียง นั่นคือ เสียงจะดังมากเมื่อวัตถุเกิดการสั่นแรงและเสียงจะเบาลงเมื่อวัตถุมีการสั่นน้อยลง



ภาพที่ 2-1 การเกิดเสียงจากแหล่งกำเนิด (สสวท., 2554, หน้า 60)

ขณะที่เราคิดสายกีตาร์ พลังงานในการติดซึ่งเป็นพลังงานกลจะถูกถ่ายโอนให้กับสายกีตาร์สั่น พลังงานการสั่นของสายกีตาร์จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเสียงแผ่กระจายออกไปโดยรอบ จึงกล่าวได้ว่า เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ

พลังงานเสียงจากต้นกำเนิดแผ่มาถึงผู้ฟังโดยอาศัยการถ่ายโอนพลังงานการสั่นผ่านอากาศมายังหูผู้ฟัง แต่ถ้าไม่มีอากาศเป็นตัวกลางรับถ่ายโอนพลังงานเราก็จะไม่ได้ยินเสียงเลย

สรุปได้ว่า เสียงเป็นคลื่นกล (Mechanical Waves) ที่เกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง เสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนั้นไปยังที่ต่าง ๆ

2.1.2 อัตราเร็วของเสียง

เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่นและถ่ายโอนพลังงานของการสั่นผ่านตัวกลาง ทำให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไป คลื่นเสียงจะมีอัตราเร็วมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับตัวกลาง โดยคลื่นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดในตัวกลางที่เป็นของแข็ง และเร็วน้อยลงในตัวกลางที่เป็นของเหลวและแก๊ส ตามลำดับ

สำหรับการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงในอากาศ ช่วงเวลาที่เสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมาถึงหูผู้ฟัง ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของเสียงและระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับผู้รับฟัง ถ้าระยะห่างมาก ต้องใช้ช่วงเวลานานกว่าจะได้ยินเสียง แต่ถ้าระยะใกล้ก็ใช้ช่วงเวลาสั้นกว่า อัตราเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะคงตัว เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางคงตัว ดังแสดงในตาราง 2-1

นักฟิสิกส์ทดลองเรื่องอัตราเร็วเสียง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นโดยพบว่าอัตราเร็วเสียงและอุณหภูมิในหน่วยองศาสัมบูรณ์ (K) มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v \propto \sqrt{T} \quad (2-1)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

และจากการทดลองที่อุณหภูมิ $0^{\circ}C$ หรือ $273 K$ เสียงในอากาศมีอัตราเร็วเท่ากับ $331 m/s$

จาก

$$v \propto \sqrt{T}$$

$$v_i = K\sqrt{T_i} \quad (2-2)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่ของการแปรผันตรง

$$v_0 = K\sqrt{T_0} \quad (2-3)$$

เมื่อ v_i คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ i องศาเซลเซียสมีหน่วยเมตรต่อวินาที (m/s)

v_0 คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสมีหน่วยเมตรต่อวินาที (m/s)

T_i คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ i องศาเซลเซียสมีหน่วยเคลวิน (K)

T_0 คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ที่แปลตามค่าอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสมีหน่วยเคลวิน (K)

หากนำสมการที่ (2-2) หารด้วยสมการที่ (2-3) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{v_i}{v_0} &= \frac{K\sqrt{T_i}}{K\sqrt{T_0}} \\ \frac{v_i}{v_0} &= \frac{\sqrt{T_i}}{\sqrt{T_0}} \\ \frac{v_i}{v_0} &= \sqrt{\frac{273+i}{273+0}} \\ \frac{v_i}{v_0} &= \sqrt{1+\frac{i}{273}} \end{aligned} \quad (2-4)$$

จากสมการที่ (2-4) ถ้าให้ $i/273$ เท่ากับ x และเมื่อ x มีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเทียบกับ 1 หรือ $x \ll 1$

ค่า $(1+x)^n \approx 1 + \frac{n}{1!}x + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 + \dots + x^n \quad (2-5)$

โดยพจน์ที่สามเป็นต้นไปจะมีค่าน้อยกว่าพจน์ที่หนึ่งและพจน์ที่สองมาก

จะได้ $(1+x)^n = 1 + \frac{n}{1!}x$

เมื่อ $n = \frac{1}{2}$ จะได้ว่า $(1+x)^{\frac{1}{2}} \cong 1 + \frac{x}{2}$

ดังนั้น $\frac{v_i}{331} \cong 1 + \frac{i}{273 \times 2}$

$$v_i = 331 \left(1 + \frac{i}{273 \times 2} \right)$$

$$v_t = 331 + \frac{331t}{273 \times 2}$$

$$v_t = 331 + 0.6t \quad (2-6)$$

สรุปได้ว่า ถ้าเสียงเคลื่อนที่ในตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงเสียงจะเคลื่อนที่ได้เร็ว และถ้าตัวกลางที่มีอุณหภูมิต่ำเสียงจะเคลื่อนที่ช้า โดยจะเป็นไปตามสมการที่ (2-6) เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

ตารางที่ 2-1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 68)

ตัวกลาง	อัตราเร็ว (m/s)
แก๊ส	
อากาศ ($0^{\circ}C$)	331
อากาศ ($20^{\circ}C$)	343
คาร์บอนไดออกไซด์ ($0^{\circ}C$)	259
ออกซิเจน ($0^{\circ}C$)	316
ฮีเลียม ($0^{\circ}C$)	965
ของเหลว	
คลอโรฟอร์ม ($20^{\circ}C$)	1004
เอทิลแอลกอฮอล์ ($20^{\circ}C$)	1162
ปรอท ($20^{\circ}C$)	1450
น้ำกลั่น ($20^{\circ}C$)	1482
น้ำทะเล ($20^{\circ}C$)	1552
ของแข็ง	
อะลูมิเนียม ($20^{\circ}C$)	6420
เหล็ก ($20^{\circ}C$)	5941
แกรนิต ($20^{\circ}C$)	6000

สำหรับสมการ $v_t = 331 + 0.6t$ จะใช้ได้เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางไม่เกิน $50^{\circ}C$ นอกจากนี้การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงยังหาได้จากสมการ

$$v = f\lambda \quad (2-7)$$

และ
$$v = \frac{s}{t} \quad (2-8)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

f คือ ความถี่คลื่นเสียง มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

λ คือ ความยาวคลื่นเสียง มีหน่วย เมตร (m)

s คือ ระยะทาง มีหน่วย เมตร (m)

t คือ เวลา มีหน่วย วินาที (s)

ถ้าอุณหภูมิเกิน $50^{\circ}C$ ต้องใช้สมการดังนี้

$$v_t \propto \sqrt{T}$$

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} \quad (2-9)$$

$$v_t = 331 \sqrt{\frac{T}{273}} \quad (2-10)$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิของอากาศ มีหน่วย องศาเซลเซียส ($^{\circ}C$)

T คือ อุณหภูมิของอากาศ หน่วย องศาสัมบูรณ์หรือเคลวิน (K)

การหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ $30^{\circ}C$ จากสมการทั้งสองจะมีค่าใกล้เคียงกัน
คือจากสมการที่ (2-6) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 30$$

$$= 349 m/s$$

และจากสมการที่ (2-9)

$$v_t = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{30}{273}}$$

$$= 348.7 m/s$$

จะเห็นว่าอัตราเร็วของคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 30°C จากสมการที่ (2-6) และ (2-9) อัตราเร็วของคลื่นเสียงมีค่าเท่ากับ 349 m/s และ 348.7 m/s ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 50°C การหาอัตราเร็วเสียงจากทั้งสองสมการจะไม่เท่ากัน เช่น การหาอัตราเร็วเสียงที่ 200°C

จากสมการ (2-6) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$= 331 + 0.6 \times 200$$

$$= 451 \text{ m/s}$$

และจากสมการ (2-9)

$$v = 331 \sqrt{1 + \frac{t}{273}}$$

$$= 331 \sqrt{1 + \frac{200}{273}}$$

$$= 435.7 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าถ้าอุณหภูมิตั้งแต่ 50°C ขึ้นไปจะใช้สมการ (2-6) หรือ $v_t = 331 + 0.6t$ ไม่ได้ เพราะค่าที่ได้ผิดพลาดมากเมื่อเทียบกับกรหาโดยใช้สมการที่ (2-9)

อัตราเร็วเสียงในของไหล

อัตราเร็วเสียงในของไหลขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของไหลและมอดูลัส

เชิงปริมาตร (Bulk Modulus) ของของไหล ตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2-11)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในของไหล มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

B คือ ค่ามอดูลัสเชิงปริมาตรของของไหล มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

โดยค่า B สามารถคำนวณได้จาก

$$B = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}} = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงความดัน}}{\text{อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตร}} \quad (2-12)$$

หรือ

$$B = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} \quad (2-13)$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตรเดิมของของไหล มีหน่วย ลูกบาศก์เมตร (m^3)

ΔV คือ ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อได้รับความดันมากระทำ มีหน่วย ลูกบาศก์เมตร (m^3)

ΔP คือ การเปลี่ยนแปลงความดัน มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น

อัตราเร็วเสียงในของแข็งที่เป็นเส้น ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและมอดูลัสของยัง

(Young's Modulus) ของของแข็งที่เป็นเส้นตามสมการ

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad (2-14)$$

เมื่อ v คือ อัตราเร็วเสียงในของแข็ง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของแข็ง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

Y คือ ค่ามอดูลัสของยังของของแข็ง มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

โดยค่า Y สามารถคำนวณหาได้จาก

$$Y = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad (2-15)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่กระทำของเส้นของแข็ง มีหน่วย นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นของแข็ง มีหน่วย ตารางเมตร (m^2)

L คือ ความยาวของเส้นของแข็ง มีหน่วย เมตร (m)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงดึงมากระทำ มีหน่วยเมตร (m)

อัตราเร็วเสียงในแก๊สอุดมคติ

อัตราเร็วเสียงในแก๊สอุดมคติ (Ideal Gas) มีการอัดและขยายตัวของแก๊สเป็นไปตาม

กระบวนการอะเดียเบติกหรือกระบวนการคงความร้อน (Adiabatic Process) โดยค่ามอดูลัส

เชิงปริมาตรของแก๊สมีค่าเป็น

$$B = \gamma P \quad (2-16)$$

โดยที่ค่า γ สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (2-17)$$

เมื่อ C_p คือ ความจุความร้อนของแก๊สที่ความดันคงตัว

C_v คือ ความจุความร้อนของแก๊สที่ปริมาตรคงตัว

B คือ ค่ามอดูลัสเชิงปริมาตร มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

P คือ ความดันของแก๊ส มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

γ คือ ค่าคงตัวสำหรับแก๊ส

แทนสมการที่ (2-16) ลงในสมการที่ (2-11) จะได้

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (2-18)$$

และจากกฎของแก๊ส

$$PV = nRT \quad (2-19)$$

$$PV = \left(\frac{m}{M} RT \right) \quad (2-20)$$

$$\frac{PV}{m} = \frac{RT}{M} \quad (2-21)$$

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{M} \quad (2-22)$$

แทนสมการที่ (2-22) ลงใน สมการที่ (2-18) จะได้

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (2-23)$$

จะสังเกตได้ว่า $v \propto \sqrt{T}$ ตามที่ระบุไว้ในสมการที่ (2-1)

เมื่อ v คือ อัตราเร็วของเสียงในแก๊ส มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

R คือ ค่าคงตัวของแก๊สมีค่าเท่ากับ 8.31 J/mol-K

T คือ อุณหภูมิในหน่วย เคลวิน (K)

M คือ มวลของแก๊สในหนึ่งโมเลกุล

m คือ มวลของแก๊สทั้งหมดใน n โมล

n คือ ปริมาณแก๊สทั้งหมดในภาชนะเป็นโมล

γ คือ ค่าคงตัวสำหรับแก๊ส

ตารางที่ 2-2 สมบัติของสารที่เป็นของแข็ง (DAVID T. BLACKSTOCK, 2000, pp. 461 – 463)

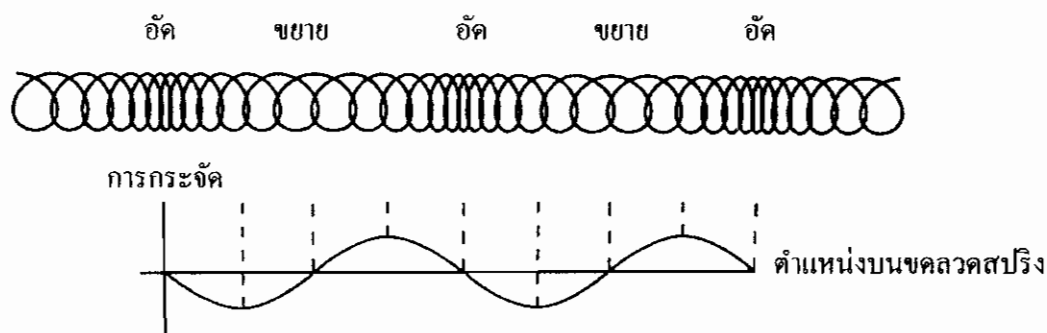
Material	Density ρ_0 (kg/m^3)	Young's Modulus Y (GPa)	Shear Modulus G (GPa)	Adiabatic Bulk Modulus B (GPa)	Speed c m/s		Characteristic Impedance $\rho_0 c_0$ (MKS Mrayls)	
					Bar	Bulk	Bar	Bulk
Aluminum	2700	7.1	2.4	7.5	5150	6300	13.9	17.0
Brass	8500	10.4	3.8	13.6	3500	4700	29.8	40.0
Copper	8900	12.2	4.4	16.0	3700	5000	33.0	44.5
Iron (cast)	7700	10.5	4.4	8.6	3700	4350	28.5	33.5
Lead	11300	1.65	0.55	4.2	1200	2050	13.6	23.2
Nickel	8800	21.0	8.0	19.0	4900	5850	43.0	51.5
Silver	10500	7.8	2.8	10.5	2700	3700	28.4	39.0
Steel	7700	19.5	8.3	17.0	5050	6100	39.0	47.0
Glass (Pyrex)	2300	6.2	2.5	3.9	5200	5600	12.0	12.9
Lucite	1200	0.4	0.14	0.65	1800	2650	2.15	3.2

2.1.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงผ่านตัวกลาง

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของตัวกลางที่ติดกับแหล่งกำเนิดนั้นและถ่ายโอนพลังงานให้แก่โมเลกุลถัดไปเรื่อย ๆ จนถึงหูผู้ฟัง ผลที่เกิดขึ้นคือ คลื่นเสียงเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสียงโดยมีโมเลกุลตัวกลางทำหน้าที่ถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงนั้น โดยโมเลกุลของตัวกลางไม่ได้เคลื่อนที่ไปกับคลื่นเสียงนั้น

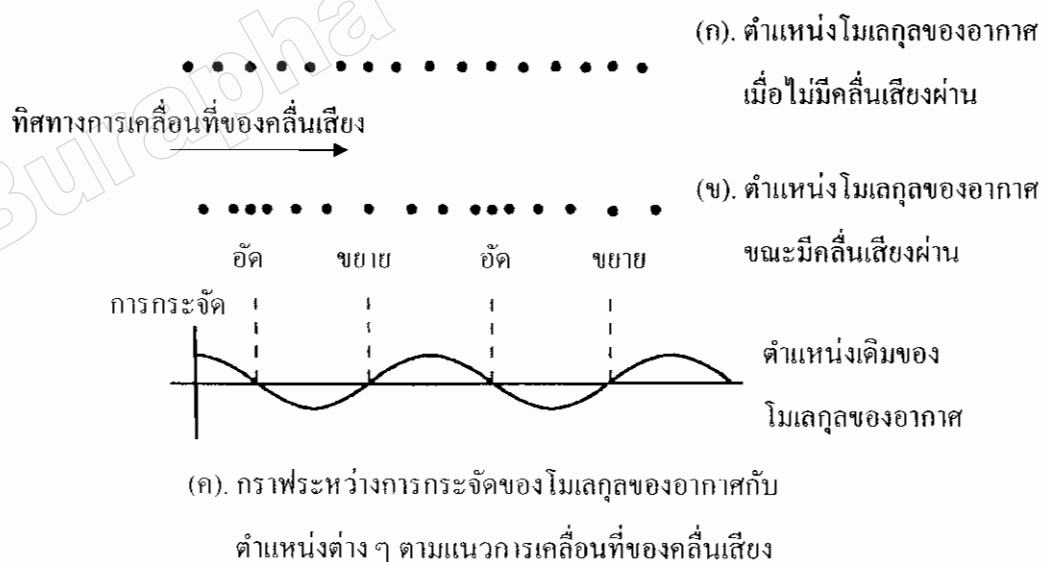
สำหรับคลื่นเสียงในอากาศ เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงสั่น พลังงานของการสั่นจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบ ๆ โดยการชนระหว่างโมเลกุล เมื่อพิจารณาแนวการถ่ายโอนพลังงานของคลื่นเสียงกับแนวการสั่นของโมเลกุลของอากาศซึ่งเป็นอนุภาคของตัวกลางแล้วจะพบว่าอยู่ในแนวเดียวกัน ดังนั้น คลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)

เนื่องจากโมเลกุลของอากาศมีขนาดเล็กมาก จึงไม่สามารถสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลได้โดยตรง เราจะพิจารณาโดยใช้ขดลวดสปริงเป็นแบบจำลองแทน ขณะที่ไม่มีคลื่นเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสปริงแต่ละขดลวดของสปริงจะอยู่ห่างเท่ากันตลอดเวลา เมื่อมีคลื่นตามยาวเคลื่อนที่ผ่านขดลวดสปริงอย่างต่อเนื่องจะพบว่าระยะห่างของแต่ละขดลวดจะมีความต่างกัน ถ้าพิจารณาที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง ส่วนของขดลวดสปริงที่อยู่ชิดกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนอัด (Compression) ส่วนที่อยู่ห่างกว่าปกติ เรียกว่า ส่วนขยาย (Expansion) ถ้าพิจารณาบริเวณส่วนอัดจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางไม่มีการเคลื่อนที่เพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายอัดเข้ามา การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนอัดจึงเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณาบริเวณส่วนขยายจะเห็นว่าขดลวดสปริงที่อยู่ตรงกลางก็ไม่มีการเคลื่อนที่เช่นกันเพราะถูกขดลวดส่วนที่อยู่ทางขวาและส่วนที่อยู่ทางซ้ายดึง การกระจัดของขดลวดตรงกลางส่วนขยายจึงเป็นศูนย์ เมื่อเขียนกราฟแสดงการกระจัดเทียบกับตำแหน่งบนขดลวดสปริง จะได้ดังภาพที่ 2-2



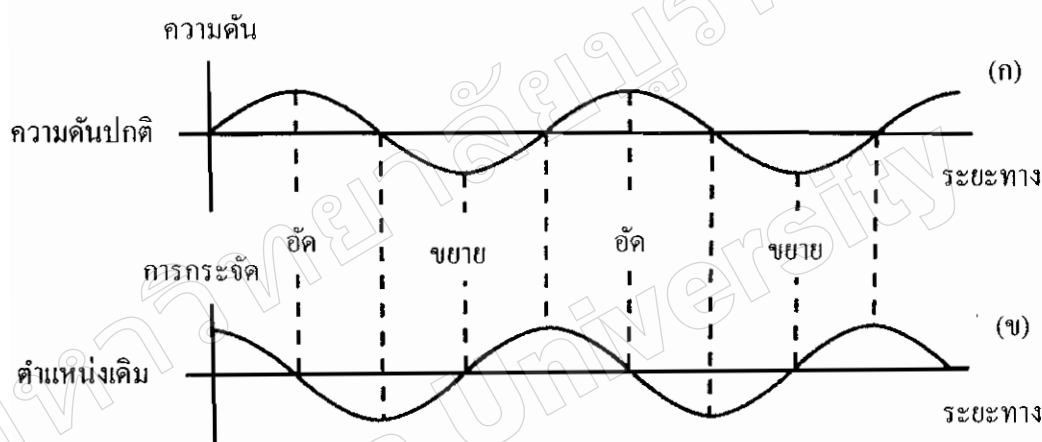
ภาพที่ 2-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดออกจากตำแหน่งเดิมของขดลวดสปริง กับตำแหน่งต่าง ๆ บนสปริงขณะที่คลื่นตามยาวผ่าน (สสวท., 2554, หน้า 70)

เมื่อพิจารณาโมเลกุลของอากาศอยู่ในแนวเส้นตรงจากแหล่งกำเนิดเสียง ขณะไม่มีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน โดยเฉลี่ยแต่ละโมเลกุลของอากาศอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่ากันโดยตลอด ดังภาพที่ 2-3 (ก) เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน ระยะระหว่างโมเลกุลของอากาศจะเปลี่ยนไปตามลักษณะที่เป็นส่วนอัดและส่วนขยายดังภาพที่ 2-3 (ข) และกราฟระหว่างระยะห่างจากตำแหน่งเดิมของอนุภาคอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงจะเป็นลักษณะเดียวกับการเกิดคลื่นตามยาวในขดลวดสปริง ดังแสดงในภาพที่ 2-3 (ค)



ภาพที่ 2-3 คลื่นเสียงขณะเคลื่อนที่ผ่านอากาศ (สสวท., 2554, หน้า 70)

ขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โมเลกุลของอากาศบริเวณที่เป็นส่วนอัดจะมีจำนวนมากกว่าปกติทำให้ความดันอากาศที่บริเวณส่วนอัดสูงกว่าความดันปกติ ส่วนโมเลกุลของอากาศในบริเวณที่เป็นส่วนขยายจะมีจำนวนน้อยกว่าปกติ ทำให้ความดันของอากาศในบริเวณส่วนขยายต่ำกว่าปกติ ดังนั้น บริเวณตรงกลางของส่วนอัดจึงมีความดันเพิ่มขึ้นจากปกติมากที่สุด และตรงกลางของส่วนขยายก็มีความดันลดลงจากปกติมากที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาคลื่นเสียงที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศขณะใดขณะหนึ่ง กราฟระหว่างความดันของอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ 2-4 (ก) และกราฟระหว่างการกระจัดของโมเลกุลอากาศตามแนวการเคลื่อนที่ของเสียงเป็นดังภาพที่ 2-4 (ข)



ภาพที่ 2-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับการกระจัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

(ก). กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง

(ข). กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดของอนุภาคกับตำแหน่งต่าง ๆ ตามแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง (สสวท., 2554, หน้า 71)

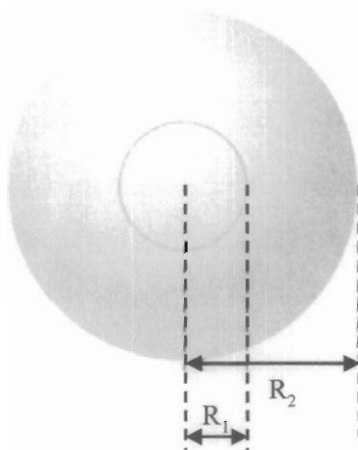
คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงนี้จะถูกถ่ายโอนให้กับ โมเลกุลของอากาศ ทำให้ความดันอากาศเปลี่ยนแปลงแต่ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงก็ยังคงเท่ากับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงจนกระทั่งถึงหูผู้ฟัง ทำให้ผู้ฟังได้ยินเสียง มีความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง

2.1.4 ความเข้มเสียงและการได้ยิน

เสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเสียงและในการทำให้วัตถุสั่นจำเป็นต้องใช้พลังงาน ถ้าพลังงานที่ใช้มีค่ามากจะทำให้แอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามาก และถ้าใช้พลังงานน้อย แอมพลิจูดของการสั่นก็จะน้อยตามไปด้วย พลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงจะถูกถ่ายโอนให้แก่โมเลกุลอากาศที่อยู่รอบ ๆ แหล่งกำเนิดเสียงซึ่งจะถูกถ่ายโอนผ่านโมเลกุลของอากาศต่อกันไปถึงหูผู้ฟัง ทำให้แก้วหูสั่น เป็นผลให้ผู้ฟังได้ยินเสียง การได้ยินเสียงของผู้ฟังขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เสียงที่หูได้ยินอาจจะดังหรือเบาก็ได้ขึ้นกับพลังงานของเสียงที่หูผู้ฟังได้รับ อัตราการถ่ายโอนพลังงานเสียงของแหล่งกำเนิด คือ ปริมาณพลังงานเสียงที่ส่งออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเรียกว่า กำลังเสียง (Power of a Sound Wave) ในระบบเอสไอ ใช้หน่วยกำลังเสียงเป็นจูลต่อวินาทีหรือวัตต์ ผู้ฟังจะได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่มีกำลังเสียงมากกว่าแหล่งกำเนิดเสียงที่มีกำลังเสียงน้อย ในกรณีที่ผู้ฟังอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดเสียงทั้งสองเท่ากัน

ตามปกติคลื่นนำจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่เป็นจุด จะแผ่หน้าคลื่นออกจากแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นรูปวงกลมสำหรับคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงที่เป็นจุด อาจพิจารณาได้ว่า หน้าคลื่นจะแผ่ออกเป็นรูปทรงกลมโดยมีจุดกำเนิดคลื่นเสียงอยู่ที่ศูนย์กลางของทรงกลมนั้น ดังนั้นหน้าคลื่นทรงกลมที่อยู่ไกลจากจุดกำเนิดคลื่นเสียง ย่อมมีพื้นที่มากกว่าหน้าคลื่นทรงกลมที่อยู่ใกล้

ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 หน้าคลื่นทรงกลมจากแหล่งกำเนิดเสียง (สสวท., 2554, หน้า 72)

กำลังเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของหน้าคลื่นทรงกลม
เรียกว่า ความเข้มเสียง (Intensity of Sound Wave)

หรือ
$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (2-24)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มีหน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

P คือ กำลังเสียงของแหล่งกำเนิดเสียง มีหน่วย วัตต์ (W)

R คือ ระยะระหว่างแหล่งกำเนิดเสียงกับตำแหน่งที่จะหาความเข้มเสียง มีหน่วย เมตร (m)

จากสมการ (2-24) ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงมีกำลังเสียงคงตัว

$$I \propto \frac{1}{R^2} \quad (2-25)$$

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเมื่อตำแหน่งนั้น ๆ อยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดเสียงจะพบว่า
ความเข้มเสียง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะลดลงตามระยะทางกำลังสอง

จากผลการทดลองเกี่ยวกับการได้ยินของคนปกติ พบว่า เสียงที่เบาที่สุดที่มนุษย์
สามารถได้ยินมีความเข้มเสียงประมาณ $10^{-12} W/m^2$ และเสียงดังที่สุดที่มนุษย์สามารถทนฟังได้
โดยไม่เป็นอันตรายต่อแก้วหูมีความเข้มเสียงประมาณ $1 W/m^2$

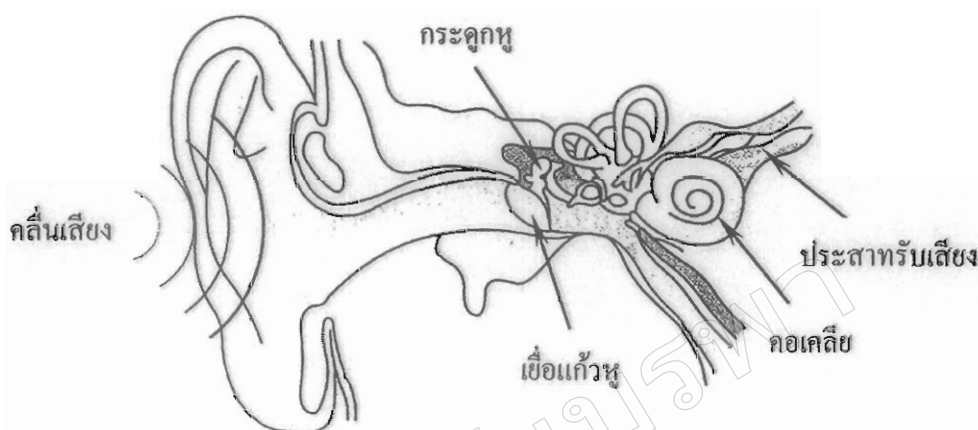
ตารางที่ 2-3 ระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงต่าง ๆ (สสวท., 2554, หน้า 75)

แหล่งกำเนิดเสียง	ระดับเสียง (dB)	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบแผ่วเบา	30	เสียงมาก
สำนักงานที่เงียบ	50	เงียบ
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง
เครื่องดูดฝุ่น	75	ดัง
โรงงานทั่วไป, ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	80	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง	90	รับฟังบ่อย ๆ การได้ยินจะเสื่อมอย่างถาวร
เครื่องเจาะถนนแบบอึดลม	90	
เครื่องตัดหญ้า	100	
ดิสโก้เทค, การแสดงดนตรีประเภทร็อก	120	ไม่สบายหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้	130	
เครื่องบินไอพ่นกำลังขึ้นที่ระยะใกล้	150	เจ็บปวดในหู
จรวดขนาดใหญ่ที่กำลังขึ้นที่ระยะใกล้	180	แก้วหูชำรุดทันที

2.1.5 กับการได้ยิน

ถ้าเราอยู่ในที่สงบเงียบ เราอาจจะได้ยินแม้กระทั่งเสียงน้ำฝนที่หยดจากหลังคา เสียงลมหายใจของคนที่อยู่ใกล้ ๆ เสียงที่แผ่วเบาเหล่านี้ เกิดจากการถ่ายโอนพลังงานการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียงผ่านอากาศมากระทบเยื่อแก้วหูซึ่งมีความไวมาก จากการศึกษาโครงสร้างและการทำงานของหู พบว่าการสั่นของเยื่อแก้วหูเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่มีผลต่อประสาทรับรู้ในการได้ยินของคนเราแล้ว

หูของคนเราแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หูส่วนนอก หูส่วนกลางและหูส่วนใน
 ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 ส่วนประกอบของหู (สสวท., 2554, หน้า 78)

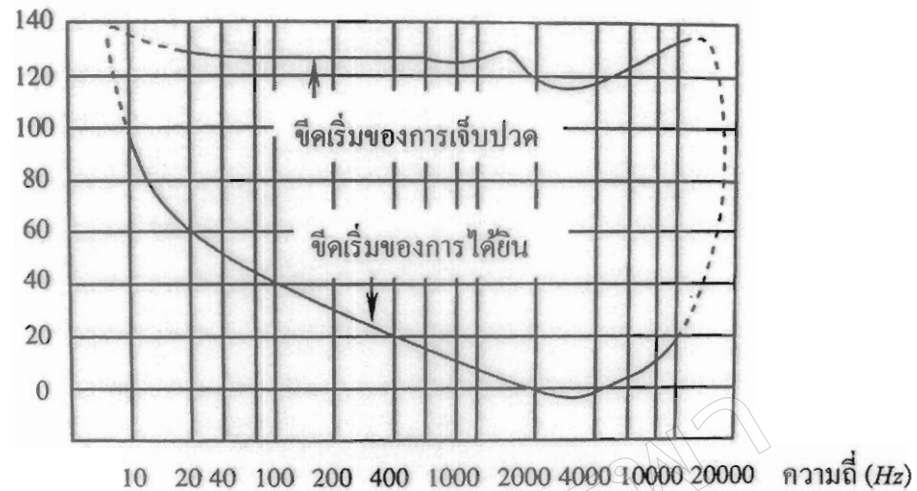
หูส่วนนอกประกอบด้วยใบหูและรูหู ซึ่งอยู่ลึกเข้าไปในกะโหลกศีรษะไปสิ้นสุด
 ที่เยื่อแก้วหู

หูส่วนกลางเริ่มจากเยื่อแก้วหูซึ่งเป็นเนื้อเยื่อแผ่นบาง ๆ ปิดช่องหูและเป็นส่วนแบ่ง
 ระหว่างหูส่วนนอกกับหูส่วนกลาง บริเวณถัดจากเยื่อแก้วหูเข้าไปเป็น โพร่ง ภายในโพร่งมีกระดูก
 3 ชิ้น ซึ่งมีชื่อเรียกตามรูปร่าง คือ กระดูกค้อน กระดูกทั่งและกระดูกโกลน ภายในหูส่วนกลางยังมี
 ช่องเล็ก ๆ ที่ติดต่อกับหลอดลมซึ่งทำหน้าที่ปรับความดันอากาศทั้งสองข้างของแก้วหูให้เท่ากัน
 ตลอดเวลา ถ้าความดันทั้งสองข้างของแก้วหูไม่เท่ากันจะทำให้เกิดอาการหูอื้อ หรือปวดหู เช่น
 เมื่อเราดำน้ำลงไปลึก ๆ หรือขึ้นไปบนที่สูงมาก ๆ เป็นต้น

หูส่วนในมีส่วนสำคัญต่อการได้ยินเสียง ได้แก่ ส่วนที่เป็นท่อกลวงขดเป็นรูป
 คล้ายหอยโข่ง เรียกว่า คอเคลีย ภายในท่อนี้ มีเซลล์ขนอยู่เป็นจำนวนมากทำหน้าที่รับรู้การสั่น
 ของคลื่นเสียงที่ผ่านมาจากหูส่วนกลาง พร้อมกับส่งสัญญาณการรับรู้ผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง
 สมองจะทำหน้าที่แปลสัญญาณที่ได้รับ ทำให้เรารับรู้เกี่ยวกับเสียงที่ได้ยิน

เราทราบแล้วว่า ขอบเขตความสามารถของการได้ยินเสียงของหูคนเราขึ้นอยู่กับ
 ระดับเสียง และความถี่ของเสียง จากการศึกษาความสามารถทางการได้ยินของคนปกติพบว่า
 ช่วงความถี่และระดับเสียง ที่คนเราสามารถรับรู้ได้มีความสัมพันธ์กับดังภาพที่ 2-7

ระดับเสียง (dB)



ภาพที่ 2-7 ช่วงความถี่และระดับเสียงที่หูคนปกติสามารถรับรู้ (สสวท., 2554, หน้า 79)

จากภาพที่ 2-7 จะเห็นว่าสำหรับเสียงความถี่ต่ำ ๆ เช่น 20 - 30 Hz หูจะได้ยินเสียงดังกล่าวกี่ต่อเมื่อเสียงนั้นมีระดับเสียง 50 - 60 dB ซึ่งแตกต่างกับเสียงความถี่สูงปานกลาง เช่น 1000 Hz ที่เราสามารถได้ยินแม้จะมีระดับเสียงเพียง 10 dB กราฟเส้นล่างแสดงขีดเริ่มของการได้ยิน (Threshold of Hearing) และกราฟเส้นบนแสดงขีดเริ่มของความเจ็บปวด (Threshold of Pain) พื้นที่ซึ่งล้อมรอบด้วยกราฟเส้นบนและเส้นล่างนี้จะแทนขอบเขตของการได้ยินของคน เสียงที่เราสามารถรับรู้ได้จะมีความถี่และระดับเสียงอยู่ในขอบเขตของการได้ยินนี้

จากกราฟการได้ยินของมนุษย์ จะช่วยให้เกิดความเข้าใจว่าทำไมวิทยุกระเป่าหิ้วที่มีกำลังเสียงเพียง 0.25 W สามารถส่งเสียงข่าวสารและดนตรีให้เราฟังได้ชัดเจน เพราะว่าเสียงที่ใช้พูดคุย สนทนา โดยทั่วไปจะมีความถี่ในช่วง 1000 - 8000 Hz ซึ่งการได้ยิน ต้องการระดับเสียงใกล้เคียง 0 - 10 dB ก็สามารถทำให้ผู้ฟังได้ยินชัดเจนแล้วเสียงร้องเพลงก็อยู่ในความถี่ช่วงนี้เช่นกัน สำหรับเสียงที่มีความถี่ต่ำ และเสียงที่มีความถี่สูง ๆ นั้นต้องใช้เครื่องขยายเสียงที่มีกำลังมากกว่านี้

สำนักวิชาสมิต มหาวิทยาลัยบูรพา
ค.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสั่นพ้องของเสียง

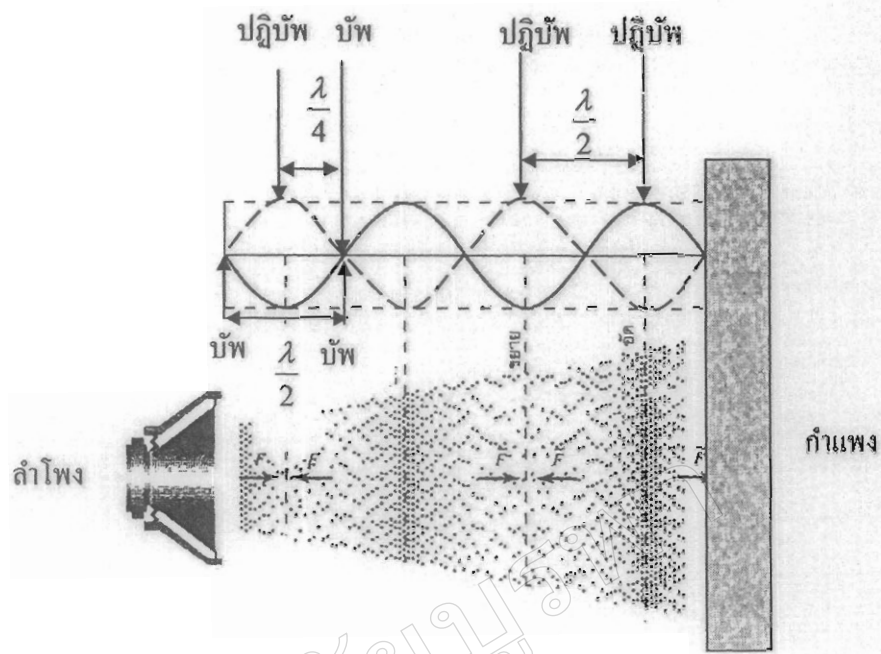
2.2.1 ความถี่ธรรมชาติ

ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) คือ จำนวนรอบของการแกว่งอย่างอิสระด้วยตัวเองของวัตถุในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น Hertz (รอบ/วินาที) ซึ่งเป็นความถี่เฉพาะตัวของวัตถุจะมีเพียงค่าเดียวหรืออาจมีได้หลายๆ ค่า ขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะการสั่นของวัตถุ ความถี่ธรรมชาติที่ต่ำที่สุดที่วัตถุสั่นได้ เรียกว่า ความถี่พื้นฐาน (Fundamental Frequency) ส่วนความถี่ธรรมชาติอื่นๆ เราจะเรียกว่า โอเวอร์โทน (Overtone) ซึ่งจะมีค่าเป็นจำนวนเท่าของความถี่พื้นฐาน ถ้าวัตถุสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติวัตถุจะสั่นแรงกว่าปกติหรือแอมพลิจูดของการสั่นมีค่ามากที่สุด ซึ่งเรียกว่า การสั่นพ้อง (Resonance)

วัตถุต่าง ๆ ที่ถูกตึง เช่น สะพานแขวน ชิงช้า ลูกตุ้มที่แขวนเชือก สายไฟที่ขึงบนเสา กลางทุ่ง เมื่อถูกแรงกระทำแล้วปล่อยจะสั่นหรือแกว่ง เช่น ถ้าผูกเชือกติดวัตถุห้อยไว้ในแนวดิ่งเมื่อให้มวลนั้นสั่น เราพบว่ามวลจะสั่นกลับไป-กลับมา แต่ถ้าเราผลักมวลต่อไปเรื่อยๆ โดยให้จังหวะของการผลักสอดคล้องกับการสั่นของมวลพอดี เราพบว่าใช้แรงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น มวลก็จะสั่นแรงขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าแรงที่เราให้ไม่สอดคล้องกับการครบรอบของมวล จะทำให้มวลนั้นสั่นด้วยแอมพลิจูดที่เล็กลง ถึงแม้ว่าเราจะให้แรงมากก็ตาม

2.2.2 คลื่นนิ่งของเสียง

คลื่นนิ่ง (Standing Waves) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการรวมกันของคลื่นเสียง 2 ขบวน ที่มีความยาวคลื่น ความถี่และแอมพลิจูดเท่ากัน ทำให้เกิดการรวมกันเป็นคลื่นนิ่ง เช่น เมื่อเสียงจากลำโพงเคลื่อนที่ไปกระทบกำแพงจะมีคลื่นเสียงสะท้อนออกจากกำแพงเสียงที่สะท้อนนี้จะมีค่าเท่ากับเสียงที่ตกกระทบกำแพง และเสียงสะท้อนนี้จะซ้อนทับกับเสียงที่ออกจากลำโพงโดยตรงทำให้เกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดที่มีลักษณะเป็นคลื่นนิ่งได้โดยเราจะได้ยินเสียงดัง (ปฏิบัพ หรือ Antinode) และเสียงค่อย (บัพ หรือ Node) สลับกันดังภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 แสดงตำแหน่งบัพ และตำแหน่งปฏิบัพของคลื่น (ดัดแปลงจาก ศสวท., 2554, หน้า 97)

จากภาพที่ 2-8 ตำแหน่งบัพที่อยู่ติดกันห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

ตำแหน่งปฏิบัพที่อยู่ติดกันห่างกัน $\frac{\lambda}{2}$

ตำแหน่งบัพและปฏิบัพที่อยู่ติดกันห่างกัน $\frac{\lambda}{4}$

สมการของคลื่นรวมเป็นดังนี้

$$y = 2A \sin kx \cos \omega t \quad (2-26)$$

เมื่อ y คือ ค่าการกระจัดลัพธ์ มีหน่วย เมตร (m)

A คือ แอมพลิจูด มีหน่วยเมตร (m)

k คือ เลขคลื่นมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อเมตร (rad/m)

x คือ พิกัดหรือตำแหน่ง มีหน่วย เมตร (m)

ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s)

t คือ เวลา มีหน่วยวินาที (s)

โดย แอมพลิจูด (amplitude, A) ของคลื่นรวม คือ

$$A = 2A \sin kx \quad (2-27)$$

จากสมการที่ (2-27) จะพบว่าแอมพลิจูด จะมีค่ามากที่สุด เมื่อ $\sin kx = 1$ ดังนั้น

$$kx = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots \text{ตำแหน่งที่ทำให้แอมพลิจูดมีค่าสูงสุด คือที่ } x = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \dots \text{ตำแหน่งนี้}$$

เรียกว่า ปฏิบัพ (Antinode) แทนด้วย A

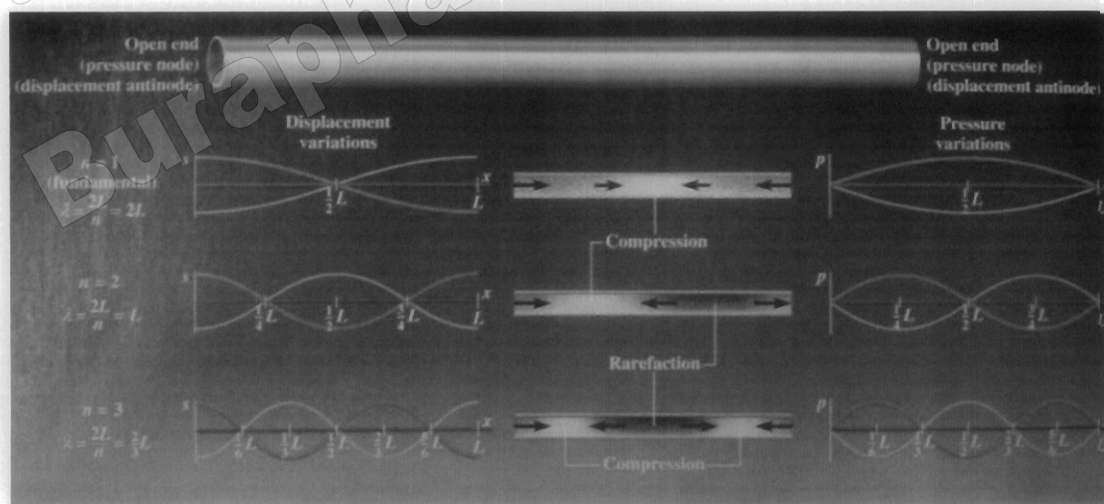
จากสมการที่ (2-27) จะพบว่าแอมพลิจูดจะมีค่าน้อยที่สุด เมื่อ $\sin kx = 0$ ดังนั้น

$$kx = 0, \pi, 2\pi, 3\pi, \dots \text{ตำแหน่งที่ทำให้แอมพลิจูดมีค่าต่ำสุด คือที่ } x = 0, \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \dots \text{ตำแหน่งนี้}$$

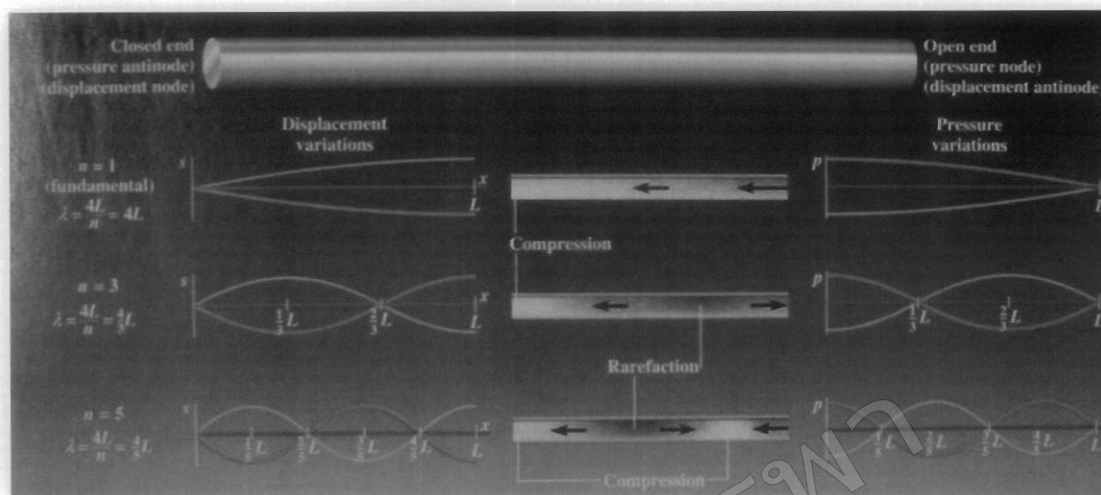
เรียกว่า บัพ (Node) แทนด้วย N

2.2.3 คลื่นนิ่งในท่ออากาศ

เครื่องดนตรีประเภทเครื่องเป่าได้แก่ ขลุ่ย ทรัมเป็ต และแซกโซโฟน อาศัยหลักการทำให้เกิดคลื่นนิ่งในท่ออากาศ โดยท่ออากาศที่ใช้มี 2 แบบ คือ ท่อปลายเปิด (Opened Pipe) และท่อปลายปิด (Closed Pipe) โดยบริเวณปลายปิดของท่อจะเป็นตำแหน่งบัพ ทั้งนี้เพราะตรงบริเวณปลายปิดจะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความดันมากที่สุด ทำให้บริเวณนั้นมีการอัดแน่นของโมเลกุลอากาศทำให้การกระจัดของโมเลกุลมีค่าน้อยที่สุด ส่วนบริเวณปลายเปิดเป็นตำแหน่งปฏิบัพ เพราะบริเวณนี้ความดันอากาศมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากปลายท่อเปิดสู่บรรยากาศทำให้โมเลกุลอากาศตรงบริเวณนั้นมีการกระจัดสูงสุด โดยแสดงดังภาพที่ 2-9



(ก) คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด



(ข) คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

ภาพที่ 2-9 คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิดและปลายปิด

(ก) คลื่นนิ่งในท่อปลายเปิด

(ข) คลื่นนิ่งในท่อปลายปิด

(Giambattista, Betty Richardson, & Robert Richardson, 2010. pp. 430 – 431)

สมการแสดงความสัมพันธ์ของความยาวท่อ ความยาวคลื่น และความถี่ของการเกิด
คลื่นนิ่งในท่อเป็นดังนี้

ท่อปลายเปิด

$$f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2-28)$$

ท่อปลายปิด

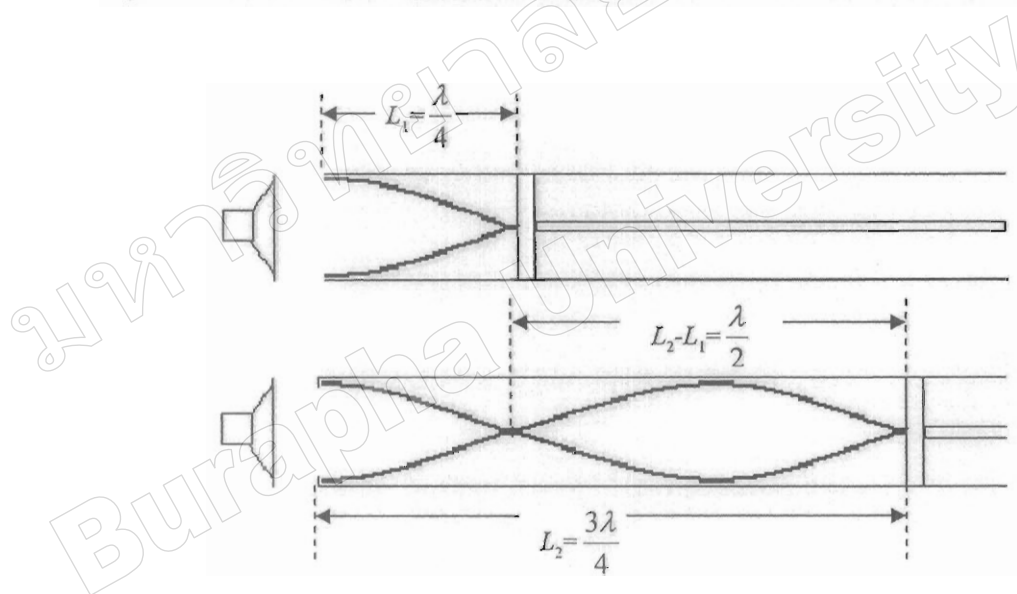
$$f_n = \frac{v}{\lambda} = \frac{n}{4L} \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2-29)$$

เมื่อ f_n คือ ความถี่ มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz) v คือ อัตราเร็วเสียง มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s) λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วย เมตร (m) n คือ จำนวนคลื่นนิ่งที่เกิดขึ้น L คือ ความยาวท่อ มีหน่วยเมตร (m) B คือ Bulk Modulus ของตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ มีหน่วย นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) ρ คือ ความหนาแน่นของตัวกลาง มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

2.2.4 การสั่นพ้องของคลื่นในท่ออากาศ

เมื่อเกิดการรบกวนตัวกลางใด ๆ แล้วจะเกิดคลื่นขึ้นมาในตัวกลางนั้น โดยตัวกลางจะแกว่งด้วยความถี่เป็นไปตามธรรมชาติของตัวกลางนั้น ๆ ความถี่ของคลื่นที่เกิดขึ้นเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ โดยปกติอนุภาคในตัวกลางจะสั่นด้วยความถี่ธรรมชาติของตัวเองถ้าเราให้ความถี่กับตัวกลาง เช่น เส้นเชือกหรืออากาศที่อยู่ในท่อ เท่ากับความถี่ธรรมชาติของตัวกลาง ผลก็คือจะทำให้อนุภาคในตัวกลางสั่นด้วยแอมพลิจูดสูงสุด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดการสั่นพ้อง

การสั่นพ้องของเสียง คือปรากฏการณ์ที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางแล้วอนุภาคของตัวกลางมีการสั่นด้วยความถี่เดียวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียง ถ้าเราให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่านอากาศที่อยู่ในท่อการสั่นพ้อง ณ ตำแหน่งที่เกิดการสั่นพ้องจะได้ยินเสียงดังที่สุด ขณะที่เกิดการสั่นพ้องของเสียง ในท่ออากาศจะมีการแทรกสอดระหว่างคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดกับคลื่นเสียงที่สะท้อนจากท่อสั่นพ้องทำให้เกิดคลื่นนิ่งขึ้น และระยะทางระหว่างตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่งกับครั้งที่สองจะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นเสียงดังแสดงในภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 การเกิดการสั่นพ้องในท่ออากาศ

(ดัดแปลงจาก: <http://www.thaigoodview.com/node/16869?page=0%2C15>)

จากภาพที่ 2-10 ถ้าให้ L_1 แทนระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่หนึ่ง โดย $L_1 = \lambda/4$ และ L_2 แทนระยะทางจากลำโพงถึงตำแหน่งเสียงดังที่สุดครั้งที่สองโดย $L_2 = 3\lambda/4$ จะเขียนได้ดังสมการ (2-30)

$$L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2} \quad (2-30)$$

ถ้าให้ $\Delta L = L_2 - L_1$ สมการที่ (2-30) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} \quad (2-31)$$

ดังนั้นความยาวคลื่นของเสียงจะหาได้จากสองเท่าของผลต่างของระยะของตำแหน่งเสียงคงที่อยู่ติดกันดังแสดงในสมการที่ (2-32)

$$\lambda = 2\Delta L \quad (2-32)$$

และเมื่อทราบความยาวคลื่นและความถี่เสียงก็สามารถคำนวณหาอัตราเร็วของเสียงในอากาศได้ดังสมการที่ (2-7)

$$v = \lambda f$$

หลักการคำนวณหาอัตราเร็วของคลื่นเสียงในของแข็งมีดังนี้

ทำการวัดความยาวของแท่งเหล็กที่ใช้ทดลอง จะมีค่าเท่ากับ $L_m = \lambda_m / 2$ เนื่องจากตรงจุดกึ่งกลางของแท่งเหล็กติดด้วย ตัวยึด ซึ่งจะเสมือนเป็นจุด บัพ หรือ Node และระหว่างกองของฝุ่นไม้ไผ่ที่ติดกันจะมีค่าเท่ากับ $\lambda_a / 2$ เมื่อรู้ค่าความยาวคลื่นของเสียงในอากาศก็สามารถคำนวณหาความถี่ของอัตราเร็วเสียงในอากาศได้และความถี่ของเสียงในอากาศจะมีค่าเท่ากับความถี่ของเสียงในแท่งเหล็กเพราะว่าเกิดจากแหล่งกำเนิดเสียงเดียวกัน สามารถคำนวณหาอัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็กได้ดังนี้ จากสมการ (2-7)

$$f_a = \frac{v_a}{\lambda_a} \quad (2-33)$$

โดยที่ f_a คือ ความถี่ของเสียงในอากาศ มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v_a คือ อัตราเร็วเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_a คือ ความยาวคลื่นเสียงในอากาศ มีหน่วย เมตร (m)

และหาอัตราเร็วเสียงในอากาศได้จาก $v = 331 + 0.6t$; t คืออุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จากสมการ (2-7)

$$f_m = \frac{v_m}{\lambda_m} \quad (2-34)$$

โดยที่ f_m คือ ความถี่ของเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เฮิรตซ์ (Hz)

v_m คือ อัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

λ_m คือ ความยาวคลื่นเสียงในแท่งเหล็ก มีหน่วย เมตร (m)

เนื่องจาก $f_a = f_m$

จะได้ว่า

$$\frac{v_a}{f_a} = \frac{v_m}{f_m} \quad (2-35)$$

$$v_m = \frac{v_a \lambda_m}{\lambda_a} \quad (2-36)$$

$$v_m = f_a \lambda_m \quad (2-37)$$

จาก $\lambda_m = 2L_m$

ดังนั้น

$$v_m = f_a 2L_m \quad (2-38)$$

ขั้นตอนการทดสอบชุดทดลอง

เปรียบเทียบค่าอัตราเร็วเสียงของวัสดุแต่ละชนิด ได้จากการทดลองกับค่าอัตราเร็วเสียงมาตรฐานของวัสดุแต่ละชนิด โดยคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Percentage Error) ระหว่างอัตราเร็วเสียงจาก 2 วิธีนี้ ได้ดังนี้ (Jerry D. Wilson and Cecilia A. Hernandez-Hall, 2010, p. 7)

$$\text{Percent Error} = \frac{|E - A|}{A} \times 100 \quad (2-39)$$

เมื่อ E คือ ค่าที่คำนวณได้จากผลการทดลอง

A คือ ค่ามาตรฐาน

2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสร้างชุดทดลองหรืออุปกรณ์การทดลอง

มนต์ชัย เทียนทอง (2530, หน้า 69-71) กล่าวถึง การออกแบบสร้างชุดทดลองเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก และค่อนข้างละเอียด ผู้สร้างจะต้องพิจารณาองค์ประกอบทุก ๆ ด้านที่เกี่ยวข้อง ประการแรกที่สำคัญ ได้แก่ การวิเคราะห์วัตถุประสงค์ของบทเรียนว่าเนื้อหาหลักต้องการอะไร ผู้เรียนต้องมีกิจกรรมอย่างไรจึงจะแสดงว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์ ถ้าต้องการแสดงออกด้วยผลการทดลองค้นคว้า หรือหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ชุดทดลองประกอบ หรือใช้สื่อความหมาย ก็จะต้องสร้างชุดทดลองโดยออกแบบขึ้นเองหรือดัดแปลงแก้ไขตามแบบที่มีอยู่

ในการออกแบบสร้างชุดทดลองขึ้นใหม่โดยการปรับปรุงพัฒนาแบบจากแคตตาล็อก หรือจากชุดทดลองอื่น ๆ ที่มีอยู่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ชุดทดลองสำหรับผู้สอนใช้สาธิตหน้าชั้นเรียนต้องมีขนาดเหมาะสม การแสดงผลเห็นได้ทั่วถึง ชัดเจน

2. ความปลอดภัยในการใช้โดยเฉพาะชุดทดลองสำหรับผู้เรียน

3. มีความสะดวกในการใช้งาน ไม่ต้องใช้ประกอบกับอุปกรณ์อื่น ๆ โดยไม่จำเป็น

4. มีโครงสร้างง่ายและใช้วัสดุที่หาได้ทั่วไปเพื่อความสะดวกต่อการซ่อมแซม

5. มีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้กับวัตถุประสงค์อื่นได้โดยการเพิ่มรายละเอียดบางส่วน

แนวทางในการออกแบบการสร้างชุดปฏิบัติการใช้ในการสอน มีลำดับขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทรตระกูล, 2543, หน้า 110)

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดปฏิบัติการ ไปใช้ในการสอน จากการตัดสินใจที่จะใช้ชุดปฏิบัติการสำหรับการใช้ในการสอนเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าชุดปฏิบัติการนำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มใดและต้องการทราบรายการวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้น เพราะข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้ในการดำเนินงานออกแบบ เพื่อสร้างชุดปฏิบัติการ เพื่อกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนการศึกษาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อการออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการ เกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นด้วย ในบางครั้งถ้าหากได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่าง ๆ ด้วย เมื่อศึกษาข้อมูลต่าง ๆ แล้ว จึงนำมาเขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจง สุดท้ายตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

2. วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนของอุปกรณ์ เป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

3. การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์และชิ้นส่วน แล้วมารวบรวมเป็นภาพประกอบคร่าว ๆ หรือร่างเป็นแบบง่าย ๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในขั้นตอนนี้อาจมีการทดสอบ หรือทดลองกลไกในหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบความสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามต้องการ

4. การสร้างต้นแบบ ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชิ้นเดียวไม่จำเป็นต้องสร้างต้นแบบ แต่หากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียนแบบนั้นมีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตหรือการสร้าง ดังนั้นแบบงานจะต้องเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยวที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่าง

ที่จะทำการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือ แบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อยและแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิต และเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุของหน่วยงาน

5. อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสารประกอบ หรือคู่มือการใช้งานเพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัยและสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต้องมีเอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เอกสารประกอบการศึกษา ทดลอง แบบฝึกหัด และแบบทดสอบ เป็นต้น

6. ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับผู้เรียน เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งจะบอกลำดับขั้นในการทดลองและแนวทางที่ใช้ในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการปฏิบัติการ นับเป็นสื่อชนิดหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าใบงานมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมากและสิ่งที่จะต้องมีไว้ในใบงานมีดังนี้

6.1 วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน

6.2 มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ

6.3 มีลำดับขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง

6.4 มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ

6.5 มีข้อควรระวังในการทำงาน

6.6 คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน

7. วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษาเพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์และแบ่งระดับความยาก – ง่ายของเนื้อหาทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอนซึ่งศึกษาจากตำรา เอกสาร การสัมมนา ปรัชญาอาจารย์ที่ปรึกษา

8. การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้วิจัยเพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการพัฒนาปรับปรุงขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

9. การปรับปรุงข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลองและใบงานที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

สำหรับแนวทางในการออกแบบชุดสื่อการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน (สุรัตน์ ไทยตรง , 2533 , หน้า 66 - 67) ดังนี้

1. กำหนดขอบข่ายเนื้อหาวิชา

2. การกำหนดเนื้อหาและวัตถุประสงค์

3. การออกแบบและสร้างชุดเพื่อการเรียนการสอน

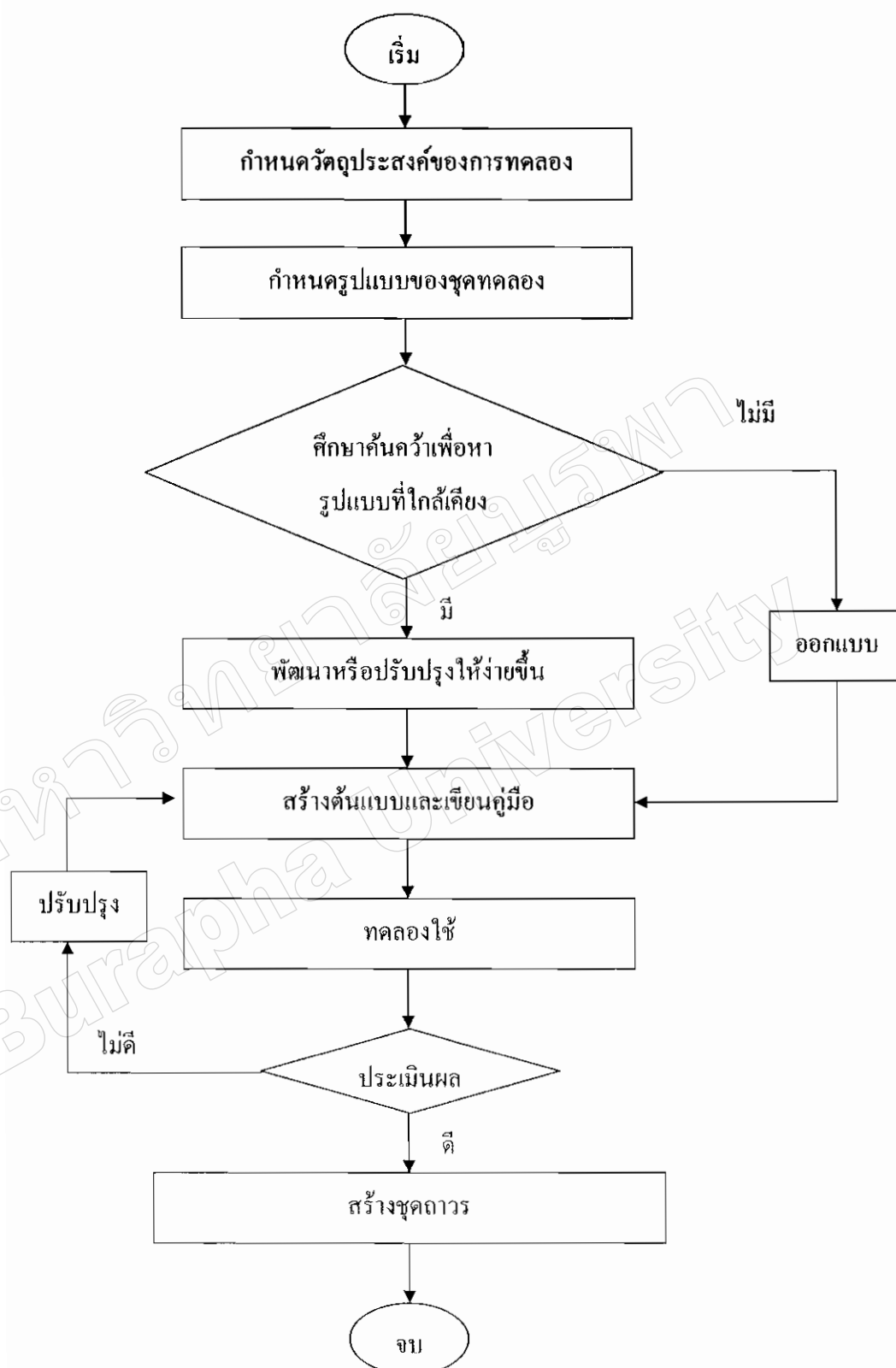
4. การทดลองใช้

5. การปรับปรุง

เครื่องมือและอุปกรณ์ หมายถึง เครื่องมือ เครื่องจักร เครื่องมือวัดและวัสดุอุปกรณ์
อื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาเอกสารและข้อมูลในการออกแบบการสร้างชุดทดลอง ได้ข้อมูลและ
หลักการออกแบบที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติดังนี้

1. กำหนดจุดประสงค์
2. วิเคราะห์ชุดทดลอง
3. การสร้างต้นฉบับ
4. เตรียมเอกสาร – คู่มือการใช้
5. ใบทดลอง – ขั้นตอนการทดลอง
6. วิเคราะห์ปัญหา – แบบทดสอบ
7. ทดสอบใช้ชุดทดลอง
8. ปรับปรุงชุดทดลอง
9. นำชุดทดลองไปใช้งานจริง
10. ประเมินผลในแต่ละส่วน



ภาพที่ 2-11 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดทดลอง

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการสอนแบบทดลอง

วิธีการสอนแบบทดลอง (Laboratory Method) ใช้สำหรับการสอนเนื้อหาวิชาทางเทคนิค โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นวิธีการสอนที่เหมาะสมสำหรับการสอนหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่มีงานปฏิบัติเป็นพื้นฐาน การทดลองเป็นวิธีการสอนที่ดีเยี่ยม ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้อย่างแจ่มแจ้งในเนื้อหา ให้โอกาสแก่ผู้เรียนได้พิสูจน์หลักการด้วยตนเอง

ล่อ การุณยะวานิช (2517, หน้า 45) ได้ให้ความหมายของวิธีการสอนแบบทดลองว่าเป็นการสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ใหม่ ๆ และข้อเท็จจริงจากการสอบสวนและทดลองนั่นเอง วิธีนี้ผู้เรียนจะเป็นผู้ปฏิบัติการทดลองในห้องเรียนปฏิบัติการ ซึ่งไม่เหมือนกันกับวิธีการสอนแบบสาธิต ที่ผู้สอนเท่านั้นจะดำเนินการทดลองในขณะที่ผู้เรียนเป็นผู้เฝ้าดู

วิธีการสอนแบบทดลอง คือ การสอนที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือข้อเท็จจริงจากทฤษฎีได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว ผู้เรียนก็ทำการทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมาเพื่อนำผลสัมฤทธิ์ของการเรียนรู้ การทดลองปฏิบัติ ทดลองในแต่ละเนื้อหาทำการสรุปผลการวิเคราะห์ถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎีโดยวิธีการสอบสวน ค้นคว้า และปฏิบัติการทดลอง วิธีการสอนแบบทดลองนี้ผู้สอนต้องเตรียมพร้อมในเรื่องของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ พร้อมทั้งคู่มือในการฝึกทดลองแต่ละขั้นตอน โดยระบุขั้นตอนการทำงานอย่างเป็นลำดับชัดเจน จนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง การสอนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทำการทดลองโดยทั่วถึงกัน เพื่อที่จะได้ศึกษาข้อเท็จจริงด้วยตนเอง

ความมุ่งหมายของการสอนแบบทดลอง พอสรุปได้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาทักษะในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ
2. เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง
3. เพื่อประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้
4. เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการรวบรวมความสัมพันธ์ของความคิด

หลักการและความรู้ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อทำให้ผู้เรียนมองภาพรวมในเนื้อหาของวิชานั้น

วิธีดำเนินการ โดยทั่วไปของการทดลองหรือการปฏิบัติการทดลอง ประกอบด้วย

1. ผู้สอนกำหนดการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหา และหลักการที่บรรยายในชั้นเรียน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็นตอน ๆ หรือเป็นเรื่อง ๆ แล้วแต่เนื้อหา

2. จัดทำคู่มือการทดลอง (Laboratory Manual) ให้กับผู้เรียน ซึ่งภายในประกอบด้วยจุดมุ่งหมาย เครื่องมือและอุปกรณ์ แนวทางปฏิบัติ รวมทั้งคำถาม ปัญหาหรือสิ่งอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในการทดลองแล้วแจกผู้เรียนให้อ่านล่วงหน้า

3. ผู้สอนและผู้ควบคุมห้องทดลอง จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมืออย่างเป็นระเบียบเป็นขั้นตอนและมีมากพอกับจำนวนผู้เรียน

4. ผู้เรียนดำเนินการทดลองตามคำแนะนำของผู้สอนหรือผู้ควบคุมห้องทดลองตามลำดับขั้นตอนที่วางไว้โดยชัดเจน เป็นกลุ่มหรือเป็นรายบุคคล แล้วแต่ความเหมาะสม

5. ผู้เรียนเขียนรายงาน และข้อคิดเห็นตามแนวทางผู้สอนแนะนำ หรือบ่งไว้ในรายงาน

6. อภิปรายร่วมกันถึงผลการทดลองและวิธีการทดลองที่ได้ทำเสร็จสิ้น รวมทั้งข้อคิดเห็นที่สัมพันธ์กับการทดลองที่ผ่านมาแล้วและเตรียมการเพื่อการทดลองครั้งใหม่ จะเห็นได้ว่าก่อนที่ผู้เรียนจะทำการทดลองและเขียนรายงานรวมทั้งการอภิปรายผล สิ่งหนึ่งที่สำคัญก็คือการจัดทำคู่มือการทดลองให้กับผู้เรียนซึ่งประกอบไปด้วย ใบเนื้อหา (Information Sheet) และใบทดลอง (Experiment Sheet)

ใบเนื้อหา คือ เอกสารที่บอกข้อมูลทางทฤษฎีเกี่ยวกับหัวข้อที่จะทำการทดลอง ประกอบไปด้วยเนื้อหาที่จำเป็น โดยเพียงแค่บทสรุปสั้น ๆ เท่านั้น และใบเนื้อหาที่คั่นนั้นต้องอธิบายถึงเนื้อหาต่าง ๆ ที่เป็นจุดสำคัญของเรื่องนั้นอย่างเด่นชัด

ใบทดลอง คือ เอกสารที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการทดลองปฏิบัติการในหัวข้อนั้น ๆ มีตั้งแต่ชื่อเรื่องที่จะทดลอง วัตถุประสงค์ของการทดลอง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รูปวงจรต่าง ๆ ลำดับขั้นในการปฏิบัติการ และคำอธิบายเกี่ยวกับความปลอดภัยในระหว่างการทำตามที่เป็น อาจมีตารางบันทึกหรือตารางกราฟ เพื่อบันทึกผลการวัดต่าง ๆ ในการทดลอง คำถามท้ายบท การทดลอง และสรุปผลการทดลอง เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เรียนเขียนรายงานและอภิปรายสรุปผลหลังการเรียน ใบทดลองใช้มากในงานทดลองต่าง ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเหมาะสมกับการทดลองทางไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาถึงทฤษฎีต่าง ๆ ใบทดลองทั่วไปต้องประกอบไปด้วย

1. ชื่อเรื่อง
2. วัตถุประสงค์
3. เนื้อหาเบื้องต้น
4. วัสดุและอุปกรณ์ประกอบการทดลอง
5. ลำดับขั้นการทดลอง
6. เอกสารอ้างอิง
7. คำถามเพื่อวัดผลหลังการทดลอง
8. ใบข้อมูล เช่น ตารางบันทึกผล หรือกรฟ

การสอนแบบทดลอง เป็นวิธีการดำเนินงานหรือการใช้หลักสูตร ไม่ใช่การกระทำในสุญญากาศ ถ้าต้องการเตรียมผู้เรียนเข้าสู่งานแล้ว หลักสูตรจะต้องเน้นที่ความสอดคล้อง สำหรับเนื้อหาสาระไม่มีเพียงแต่ว่า ผู้เรียนควรรู้อะไร ทำอะไรได้ โดยผู้ปฏิบัติงานจริงต้องสอดคล้องกับความรู้ ทักษะ เจตคติ ค่านิยม ผลที่ตามมาก็คือ จะต้องเน้นภาคปฏิบัติอย่างมาก เวลาที่คนทำงานส่วนมากจะต้องประยุกต์ปฏิบัติการทดลองก็ต้องเป็นภาคปฏิบัติด้วย เป็นการจัดให้ผู้เรียนได้รับการถ่ายทอดความรู้ทักษะ และเจตคติที่สอดคล้องกับหลักสูตรการสอนแบบทดลอง การปฏิบัติการทดลอง ขั้นตอนของการปฏิบัติการทดลอง เช่น การอภิปรายก่อนการทดลอง การทำการทดลองโดยอาศัยทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การอภิปรายหลังการทดลอง เป็นเครื่องมือที่ใช้กระบวนการค้นพบ ตลอดจนสร้างสรรค์หรือประดิษฐ์คิดค้น ทำให้ความรู้ต่าง ๆ ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว (พวงทอง มีมั่งคั่ง, 2537, หน้า 90)

2.5 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการประเมินชุดทดลอง

แนวทางในการประเมินคุณภาพของสื่อการสอนโดยทั่ว ๆ ไปพอสรุปได้ดังนี้ (พิสิฐ เมธากัทร และธีระพล เมธิกุล, 2531, หน้า 171 - 173)

1. ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย (ด้านวิชาการ)

1.1 ด้านวัตถุประสงค์

1.1.1 สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์

1.1.2 สื่อเหมาะสมกับระดับความยากง่ายและวัตถุประสงค์

1.2 ด้านเนื้อหา

1.2.1 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

1.2.2 เนื้อหาวิชาแยกย่อยได้

1.2.3 เนื้อหาวิชาเรียงลำดับเป็นตรรกะ (Logic)

1.3 ด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการสื่อความหมาย

1.3.1 บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์

1.3.2 สามารถลดปริมาณการให้เนื้อหาแบบเลื่อนลอย ให้มีความหมายและ

เป้าหมายมากขึ้น

1.3.3 สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดีและสั้นลง

1.3.4 ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอนให้ผู้เรียนกระตือรือร้นมากขึ้น

1.3.4 ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนได้ดีขึ้น

2. องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน

2.1 ด้านผู้เรียน

2.1.1 สื่อเหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

2.1.2 สื่อเหมาะสมกับระดับการเรียนรู้ของผู้เรียน

2.2 ด้านผู้สอน

2.2.1 สื่อไม่จำเป็นต้องอาศัยความสามารถพิเศษในการใช้

2.2.2 สื่อที่ใช้เหมาะกับระดับการเรียนรู้ของผู้เรียน

3. องค์ประกอบเกี่ยวกับความพร้อมและนำไปใช้

3.1 ด้านวัสดุและอุปกรณ์

3.1.1 ใช้วัสดุราคาสมควรแก่ความจำเป็น

3.1.2 ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบส่วนใหญ่หาได้ตามวิทยาลัยทั่วไป

3.2 ด้านเวลา

3.2.1 เวลาที่ใช้ในการผลิตไม่มากนัก

3.2.2 เวลาที่ใช้ในการแสดงสื่อสั้น ไม่มากเกินไป

3.3 ด้านการใช้งาน

3.3.1 สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายและสะดวก

3.3.2 ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน

3.3.3 ไม่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยพิเศษอื่น ๆ ขณะนำไปใช้งาน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ames (1970, pp. 1151-1152) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวัดอัตราเร็วเสียงที่เกิดขึ้นโดยตรงในแท่งโลหะ โดยใช้แท่งโลหะสองชนิดคือ แท่งทองเหลืองและแท่งลูไซต์ ผลการทดลองพบว่า ค่าความเร็วของเสียงในแท่งทองเหลืองมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% ของค่าที่บอกไว้ในหนังสือ ส่วนแท่งลูไซต์นั้น ได้ผลที่ดีกว่าแท่งทองเหลืองและความถูกต้องของการหาค่าความเร็วเสียงมีมากกว่าแท่งทองเหลือง

Blodgett (2009, pp. 31-32) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับอัตราเร็วเสียงในท่อโลหะ : การทดลองต้นทุนต่ำโดยการใช้ท่อพีวีซีแทนท่อโลหะ ในท่อโลหะวัดอัตราเร็วเสียงได้ 5200 m/s ใกล้เคียงกับค่าที่อิงกันวัดได้คือ 5080 m/s ส่วนที่บอกไว้ในหนังสือฟิสิกส์คือ 5960 m/s ส่วนค่าที่วัดได้จากท่อพีวีซีมีค่าต่ำกว่า 2400 m/s ซึ่งต่ำกว่าค่าที่กล่าวไว้ในอินเทอร์เน็ตเนื่องจากอัตราเร็ว

ของคลื่นตามยาวที่บอกไว้ในคู่มือเป็นการทดลองคลื่นตามยาวในของแข็งที่ความยาวสัมบูรณ์ แต่การทดลองคลื่นตามยาวในท่อบาง ๆ นั้นอัตราเร็วจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่บอกไว้ถ้ารัศมีของท่อนั้น น้อยกว่าความยาวคลื่น โดยอัตราเร็วของคลื่นตามยาวในของแข็งสัมบูรณ์ขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัส ของแรงบีบอัด (Bulk Modulus; B) และ ค่าโมดูลัสของแรงเฉือน (Shear Modulus; S) และใน ของแข็งสัมบูรณ์อัตราเร็วของเสียงหาได้จากสมการ $v_{\infty} = \{[B + (4/3)S]/\rho\}^{1/2}$ ดังนั้น อัตราเร็วเสียงในของแข็งสัมบูรณ์จะมีค่า 5900 m/s จึงสอดคล้องกับค่าที่กำหนดไว้ในคู่มือ และค่าอัตราเร็วในท่อบางๆที่วัดได้มีค่า 5050 m/s ก็สอดคล้องกับผลการทดลองของฮักกินและ วัดอัตราเร็วของเสียงในท่อพีวีซีบางๆ ได้เท่ากับ 1500 m/s

Hart (1986, p. 89) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวัดอัตราเร็วเสียงในแท่งโลหะโดยใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งจะใช้ชุดซอฟต์แวร์สำหรับใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จากบริษัท Vernier Software Product ที่ชื่อ Frequency Meter ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ของแท่งโลหะกับค่าความถี่ โชนแนซตามยาวที่ต่ำที่สุด ซึ่งข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังเครื่อง คอมพิวเตอร์ผ่านช่องต่อเข้าสู่ตัวกลับเทปหรือช่องต่อของเกม ซึ่งใช้เพียงไมโคร โฟนที่ต่อเข้าไป ในช่องของตัวกลับเทปหรือเครื่องบันทึกเสียงเท่านั้นเป็นตัวเก็บข้อมูล สำหรับแผ่นอูมิเนียมที่นำมา ม้วนมีค่าคลื่นตามยาวที่ได้จากการศึกษาเอกสารเท่ากับ 5000 m/s แต่ค่าเฉลี่ยของคลื่นตามยาว ที่นักเรียนหาได้มีค่า $5100 \pm 200 \text{ m/s}$ ซึ่งสอดคล้องกับการทำนายความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ความถี่ที่แปรผกผันกับความยาว

Huggins (2008, pp. 13-14) ได้ทำการวิจัยเรื่อง อัตราเร็วของเสียงในท่อโลหะ : การทดลองต้นทุ่นต่ำโดยใช้ไมโครโฟนและ Griffin iMic™ ที่ใช้สำหรับเสียบกับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้โปรแกรม MacScope II ที่ควบคุมเครื่องออสซิลอสโคปทำงาน โดยได้ติดปลายไมโครโฟน เข้ากับปลายของท่อโลหะยาว 10 ft จากนั้นเปิดโปรแกรม MacScope II ที่ Trigger Mode แล้วตี ปลายท่อด้วยก้อน ซึ่งวัดความเร็วได้ 5080 m/s สอดคล้องกับความเร็วเสียงในโลหะที่มีค่าประมาณ 5000 m/s

Tony Key and Robert Smidrovskis (2000, pp. 76-77) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวัด อัตราเร็วเสียงในของแข็ง โดยกล่าวถึงการใช้ออสซิลอสโคปและการใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณ ในการสร้างการสั่นเพื่อให้เกิดคลื่นแบบ sine และคลื่นแบบสี่เหลี่ยมและความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิค ด้านกราฟิกในการแสดงผลข้อมูลและการใช้โมเดลเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ ที่เรียกว่า Least Squares Fitting Techniques ในการวิเคราะห์ผล การวัดอัตราเร็วของเสียงในของแข็งโดยศึกษาความสัมพันธ์ อย่างง่ายระหว่างระยะทางและเวลาโดยทำการศึกษาอัตราเร็วของเสียงในท่ออะคริลิกเพื่อวัดเวลา ที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ได้ตามความยาวของท่อ ซึ่งเวลาที่เครื่องตรวจจับวัดได้เมื่อคลื่นเดินทางมาถึง

จะถูกวัดโดยเครื่องจับเวลา (Time Scale) คลื่นลูกแรกกับคลื่นลูกต่อๆ ไปจะมีค่าแอมพลิจูดต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำไปเขียนกราฟ ค่าความชันระหว่างระยะทางกับเวลาก็คืออัตราเร็วของเสียงอุปกรณ์ที่นำมาใช้แล้วทำให้อัตราเร็วของเสียงไม่เร็วเกินไปเพื่อหน่วงเวลาให้ได้นานพอที่จะวัดโดยเครื่องออสซิลอสโคปมาตรฐานได้ โดยอะคริลิกมีช่วงอัตราเร็วอยู่ระหว่าง 1840-2460 m/s ใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/16 in ยาว 0.66 m

Mamola (1974, pp. 1117-1118) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวัดความเร็วเสียงในลวดโลหะ โดยใช้ลวดยาว 0.5-5 m ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.01-1.5 mm จากการทดลองพบว่าลวดที่ยาว 150 – 200 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-1.0 mm สามารถนำมาใช้ทดลองได้ผลดี และโลหะที่นำมาใช้ได้แก่ ทองแดง ทองเหลือง อลูมิเนียมและเหล็กกล้าอีกหลายชนิด และเพื่อให้สอดคล้องกับตัวที่ทราบค่าของ ความเร็วที่ได้จากการทดลองกับโลหะที่นำมาหลอมหรือนำมาหมุน โดยหลอมเส้นลวดก่อนโดยใช้เปลวไฟจากตะเกียงเบนซีน ซึ่งค่าความเร็วเสียงที่ได้เพิ่มขึ้นประมาณ 10% ซึ่งค่าความเร็ว ที่วัดได้สอดคล้องกับค่าที่ได้จากคู่มือในระดับ 5% ข้อดีของการทดลองนี้ก็คือ ใช้ปริมาณของโลหะเพียงเล็กน้อย คือใช้เส้นลวดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 0.1 mm หนัก 0.1 g และค่าความเร็วที่วัดได้คลาดเคลื่อนจากค่าที่คู่มือบอกไว้เพียง 5% เท่านั้น

Naba (1972, pp. 1339 - 1340) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การสังเกตการณ์ต้นตามยาวของแท่งโลหะ ได้ผลการทดลองของความเร็วเสียงในแท่งโลหะทั้งสามชนิดเทียบกับค่าจากตาราง หอคิวความแห้งโตเกียว ดังนี้ ทองแดง ความเร็วเสียงที่วัดได้ 3.6×10^3 m/s ค่าที่ได้จากทฤษฎี 3.75×10^3 m/s เหล็ก ความเร็วเสียงที่วัดได้ 5.2×10^3 m/s ค่าที่ได้จากทฤษฎี 5.12×10^3 m/s และทองเหลืองความเร็วเสียงที่วัดได้ 3.0×10^3 m/s ค่าที่ได้จากทฤษฎี 3.48×10^3 m/s

Nicklin (1972, pp. 734-735) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวัดความเร็วเสียงในแท่งโลหะ โดยการใช้มือข้างหนึ่งจับแท่งอลูมิเนียมไว้ตรงกลางและใช้มืออีกข้างหนึ่งตีที่แท่งนั้นเพื่อทำให้เกิดเสียงดัง เพื่อให้งจรไฟฟ้า ที่ต่อไว้กับเครื่องขยายเสียงทำให้ลำโพงและความถี่ที่ได้จากวงจรไฟฟ้า นั้นสอดคล้องกับความถี่ที่ได้จากแท่งโลหะซึ่งตรวจสอบได้จากการหายไปของ Beat หรือใช้แผ่นหนังชั้นเล็กๆ ตีที่แท่งโลหะหรือจะใช้แป้นขัสนหรือแป้นที่นักกรีฑาใช้ลูมือ สามารถนำมาใช้ได้ซึ่งจากการทดลองพบว่า แผ่นอลูมิเนียมนำมาใช้ในการทดลองได้ดี เนื่องจากมีค่า Q สูง และเรายังพบอีกว่าแท่งโลหะที่มีความยาว 120 - 180 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 - 13 mm จะได้ผลดี ซึ่งแท่งโลหะทุกแท่งให้ค่าความเร็ว แตกต่างจากค่าที่กำหนดไว้ในคู่มือ ที่บอกว่า 5104 m/s ไม่เกิน 0.3%

Potter (2002, pp. 56-57) ได้ทำการวิจัยเรื่องอัตราเร็วเสียงในแท่งเหล็กโดยการใส่แท่งเหล็กสัมผัสกับแผ่นโลหะเพื่อเปิดควมับเวลาโดยใช้ I-beam Section และใช้เครื่องออสซิลอสโคปแสดงให้เห็นคลื่นเสียงในแท่งเหล็กโดยใช้แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1/2$ in ยาว 1.2 m และวัดอัตราเร็วเสียงได้ 5.1×10^3 m/s ซึ่งสอดคล้องกับค่าคงที่ของเหล็ก

Rhyner (1970, pp. 1152-1153) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวัดอัตราเร็วเสียงในแท่งโลหะ โดยใช้วิธีการที่เรียกว่า Regenerative Feedback System โดยใช้แผ่นอลูมิเนียม แท่งสแตนเลสและแท่งทองแดงที่มีขนาดเท่าๆ กัน คือยาว 3 ฟุต เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 in ค่าความถี่จากการสั่นและอัตราเร็วของเสียงในแท่งโลหะที่ได้จากการทดลอง เปรียบเทียบกับค่าอัตราเร็วเสียงในโลหะที่ยอมรับได้ของตารางทางฟิสิกส์ของสมิธโซเนียน ได้ผลดังนี้แท่งอลูมิเนียมความถี่อยู่ที่ 2675 Hz ความเร็วเสียงที่วัดได้อยู่ที่ 4980 m/s และความเร็วเสียงจากตารางทางฟิสิกส์ของสมิธโซเนียน 5104 m/s แท่งทองแดงความถี่อยู่ที่ 1780 Hz ความเร็วเสียงที่วัดได้อยู่ที่ 3255 m/s และความเร็วเสียงจากตารางทางฟิสิกส์ของสมิธโซเนียน 3560 m/s และแท่งเหล็กความถี่อยู่ที่ 2800 Hz ความเร็วเสียงที่วัดได้อยู่ที่ 5120 m/s และความเร็วเสียงจากตารางทางฟิสิกส์ของสมิธโซเนียน 5130 m/s ซึ่งอัตราเร็วเสียงที่วัดได้ในอลูมิเนียมและ สแตนเลสคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3% ของค่าที่ยอมรับได้ อัตราเร็วของเสียงในทองแดงจะต่างจากค่าที่ยอมรับได้อยู่ 6% เนื่องจากแท่งทองแดงเกิดการสั่นได้ยาก

Se-yuen Mak, Yee-kong Ng and Kam-wah Wu (2000, pp. 439-445) ได้ทำการวิจัยเรื่องการวัดอัตราเร็วเสียงในแท่งโลหะ โดยจะทำการวัด 2 วิธี วิธีแรกจะใช้เครื่องจับเวลาใช้ในการจับเวลาที่คลื่นอัดใช้ในการเคลื่อนที่ไปตามแท่งโลหะจากปลายด้านหนึ่งไปหาปลายอีกด้านหนึ่งวิธีที่สอง จะใช้ไมโครโฟนมาวัดความถี่ของโหมดมูลฐานของแท่งโลหะที่ทำให้เกิดเสียงที่เขว่นไว้อย่างอิสระ โดยอัตราเร็วคำนวณได้จากสูตร $v = f\lambda$ วัสดุที่ใช้ในการทดลองได้แก่ อลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง และสแตนเลส โดยที่โลหะแต่ละชนิดจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm ยาว 1.25 m และ 0.25 m ยกเว้น เหล็กจะใช้ความยาวที่ 1 m และ 2 m ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทดลองเพื่อวัดอัตราเร็วของเสียงในแท่งโลหะทั้ง 2 วิธีเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากคู่มือ ซึ่งวิธีที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อน 10% ซึ่งเกิดจากการใช้แท่งโลหะที่สั้นเกินไป ส่วนวิธีที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อน 5% ยกเว้นอลูมิเนียม จากผลการทดลองพบว่าอลูมิเนียมมีค่าความคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยกว่าโลหะชนิดอื่นทำให้เสียงอัมบนแท่งโลหะสั้นกว่าโลหะอื่น ๆ ส่วนโลหะที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดคือทองเหลืองเนื่องจากทองเหลืองมีความยืดหยุ่นและมีระยะเวลาการเกิดเสียงอัมบนานกว่าโลหะชนิดอื่น ๆ

Von Joby Romero (n.d.) ได้ทำการวิจัยเรื่องการหาความเร็วเสียงในของแข็งโดยวิธีการท่อของคุน (Kundt's Tube) หลังจากที่ได้ทดลองได้อัตราเร็วเสียงในแท่งทองเหลืองแล้ว ก็นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ทางทฤษฎีที่พบในหนังสือ และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากคุณสมบัติของความยืดหยุ่นของโลหะ สำหรับการเปรียบเทียบแต่ละครั้งได้ค่าร้อยละ ความคลาดเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 0.429 และ 1.35% ตามลำดับ แต่ความเร็วเสียงยังมีค่าความไม่แน่นอนอยู่ที่ $3460.09 \pm 58.31 \text{ m/s}$

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University